

# ドローンを活用したAIによる 石礫の自動判別技術

中道 優也

関東地方整備局 富士川砂防事務所 調査課 (〒400-0027 山梨県甲府市富士見2-12-16)

現行の「土石流・流木対策設計技術指針」<sup>1)</sup>では砂防堰堤計画地点の上下流各々200mの範囲で礫径調査を実施し設計諸元を決定することとなっている。溪流の調査箇所は、河幅の広い条件下では足場の悪い状況での作業、目視作業による見落としや誤差が発生する。近年、ドローンの活用により直接人が視認できない場所において高解像度の写真撮影によって石礫を把握することは可能となってきたが、数多くの礫が存在する場合は、判読に労力を費やすことから計測画像の効率的な処理が課題となる。本技術はドローン画像を用いた礫径の判読作業について生産性向上や作業者の安全性向上の観点からAIを用いた自動判読の適用を試みたものである。

キーワード AI, ドローン, オルソフォト, 砂防調査, 生産性向上

## 1. はじめに

現行の「土石流・流木対策設計技術指針」<sup>1)</sup>では砂防堰堤計画地点の上下流各々200mの範囲で礫径調査を実施し設計諸元を決定することとなっている。

従来、砂防堰堤を計画するにあたり、礫径調査を人力作業で行ってきたところであるが、足場の悪い河床路では作業者に危険が伴い、かつ数多くの礫が存在する場合は、判読に労力を費やしてきた。溪流調査において河幅が広く上空からの見通しが良い場所では、近年DXで活用されているドローンによる高解像度の写真撮影が可能となる。生産性向上を目指しAIによる石礫の自動判別技術を試みたものである。

## 2. 教師データの取得

礫の自動判読を行うために、AIに数多くの礫撮影画像（以下、「教師データ」）を図-1のように与える必要がある。教師データは、撮影高度が高い航空機による

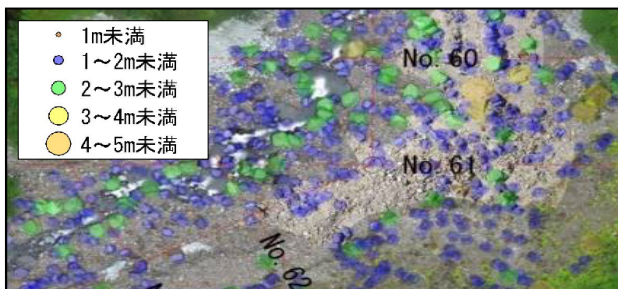


図-1 教師データの一例

画像では解像度が低いため判読できない。従って、溪流調査に用いられることが多いドローンによる撮影画像を活用した。撮影高度は航空法の許可が不要な150m未満で撮影画像の礫質・形状・色彩・明度等が異なる条件の教師データを与えるものとした。

## 3. AIによる学習モデル

### (1) 深層学習アルゴリズムのための教師データ作成

礫は様々な形状やサイズがあるため、深層学習アルゴリズムに様々なバリエーションの礫を学習させる必要がある。礫検出に適した教師画像を選定するため、撮影場所や撮影高度を変化させながら、表-1に示す学習モデルを作成した。低解像度の教師画像から1~2m以上の大きい礫を中心に中~高解像度の教師画像から、より小さい礫も含む形で認識するよう学習させた。

表-1 学習モデルの概要

学習モデル	学習モデル概要	教師画像撮影場所
Ver.01	低解像度の礫画像による学習 高度130m撮影	場所A
Ver.02	高解像度の礫画像による学習 高度40m撮影	場所B
Ver.03	高~中解像度の礫画像による学習 高度40,60,80,100m撮影	場所B
Ver.04	Ver.03にVer.01の2m以上の礫を追加	場所A+場所B
Ver.05	Ver.03にVer.01の全ての礫を追加	場所A+場所B
Ver.06	教師データはVer.05と同一 学習アルゴリズムを礫向けに調整	場所A+場所B

## (2) 深層学習モデルによる礫抽出結果

各学習モデルの作成にあたり学習時間が必要である。Ver. 01 で適切な学習時間を判定し、20～30 時間程度で十分な検出能力を得られることが分かった。Ver. 05 で教師データを組み合わせることで大小様々な礫を認識できた。Ver. 06 では認識率の向上のため、教師データを Ver. 05 と同一のまま、深層学習アルゴリズムのパラメータのみを礫向けに調整した。その結果、同一の教師データから礫検出数を向上させることができた。なお、本学習モデルの検出精度は、人が数えた目視判読の礫の個数に対して、判読礫径 1m 以上の場合、検出率 70%程度となった。検出した礫をサイズごと分類し、大きい方から赤、紫、黄色、

緑で表示した。以下、図-3は、学習モデルの作成にあたり、富士川流域早川本川でドローンにより撮影した石礫写真の解析結果画像である。早川流域は河床幅が50m程度と広く、図4のグラフに示すとおり、堆積する石礫の規模も最大で5m以上のものも含まれており、10cm以上の数の石礫を数えるとなると数万個になってしまう。このような砂防事業の対象河川で石礫の調査を実施する場合、作業者の目線で石礫を数えようとする計測数にも限界（体力的・精神的）がある。AI 技術を活用すると、調査範囲内の通常は計測していない小さな礫から大きな礫までを網羅的に情報収集し、解析により半日程度で数千個の石礫の調査結果が得られ生産性の向上が図れる。

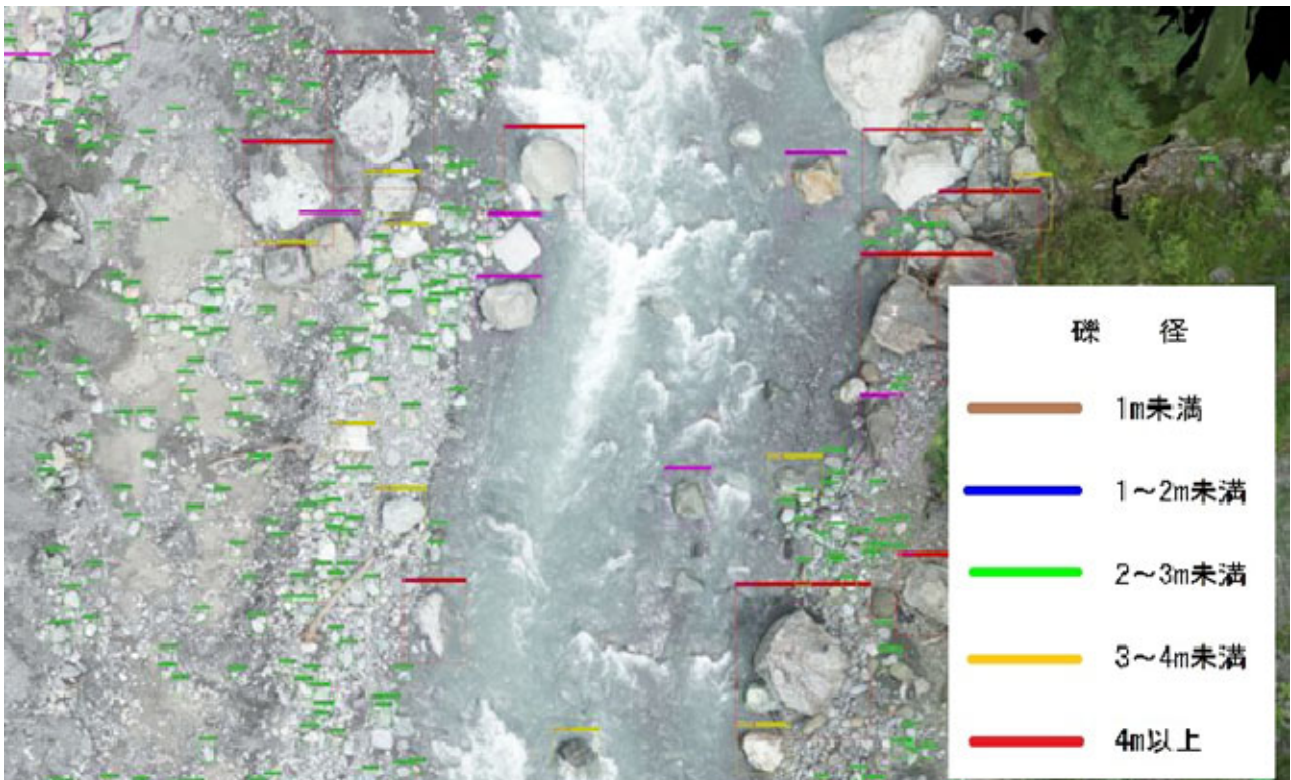


図-3 自動判読の抽出画像の例（早川本川のドローン計測結果を用いた AI 判読画像の例）

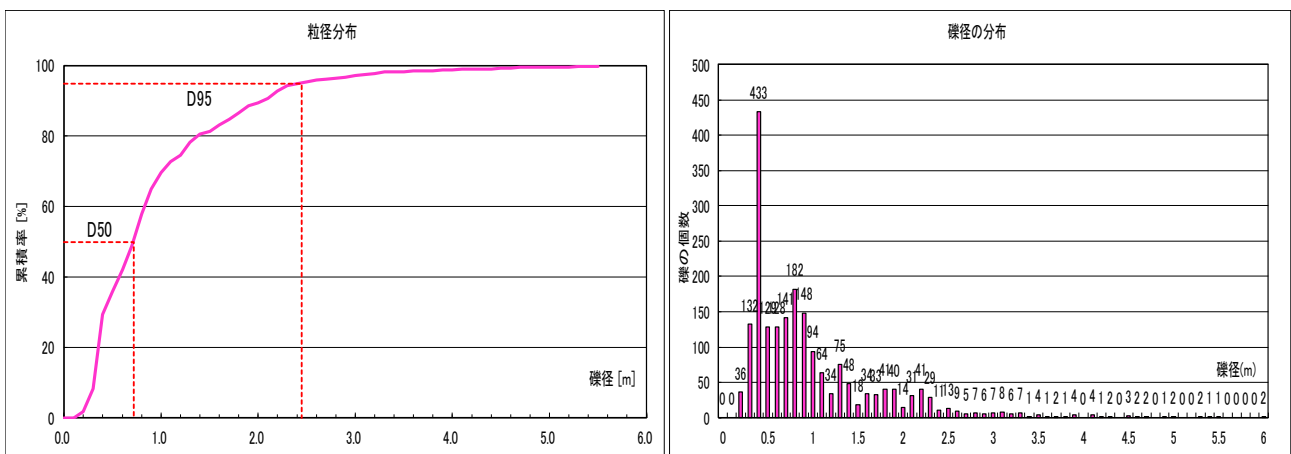


図-4 自動判読結果の礫径グラフの例

#### 4. 抽出精度の検証

認識した礫画像の検証には、実際に撮影画像内に計測棒（2m 赤白ポール）をドローンの計測範囲の河床に設置し、演算時に1ピクセルあたりの大きさを設定した。また、地表での計測礫と演算した礫の対比検証を合わせて行うことで、自動判読結果との検証を行った。比較結果を図-5に示す。また、人力作業とAIの自動判読の比較結果を表-3に示す。まず人力作業を実施した場合、抽出が可能な礫径は一般的な砂防基本計画策定指針の考え方から引用すると10cm以上は取得できる。人工知能の場合は撮影する画像の解像度（ピクセル数）が小さい場合は分析可能であるが、ドローンの撮影高度を40m程度とする場合、30cm程度の判別が限界である。礫の認識率は人力作業では確実に判別ができるが人工知能では本解析の結果では礫径100cm以上で70%以上となった。

全ての石礫を正確に計測するためには計測後の補正が必要となる。礫の誤検出に関しては人力作業では一度計測した石礫を再度計測する場合や数多くの石礫を計測するとなると人による目視の誤差が生じる。それに比べると人工知能では誤検出率は開発時点で8.6%と小さい値となる。礫の抽出個数は、人力で早川本川の現場では6時間400個を計測、ドローンを併用した人工知能では1時間程度で計測可能であり、抽出作業は数千個を5時間程度とで対応可能となった。

#### 5. 現場での活用検証

##### (1) 小型無人飛行機による空中写真撮影

砂防堰堤計画地点の石礫の分布を把握するため、小型無人飛行機による空中写真撮影を実施した。撮影条件は次工程で実施する空中写真を用いた自動判読に必要な条件として表-4に示す内容とした。表-4に示す条件で計測した各溪流の空中写真は、判読段階でひずみが無い状態の基図として用いるためオルソフォトを生成した。

##### (2) 現地計測と空中写真判読のキャリブレーション

溪床に堆積する石礫の大きさを確認する場合、石礫の長径と短径を計測することが一般的である。オルソフォトを用いて石礫の判読を行う場合、深度方向の高さを確認できないため、現地踏査による計測方法と同様に長径と短径を読み取る方法を採用した。空中写真の撮影範囲が広域である場合、写真内に撮影された石礫は数千個以上に及ぶ場合もあるため、全ての石礫を地表で実施する現地踏査と空中写真で対比するには非常に労力が必要となる。本技術は、従来の方法で実施される礫径調査を簡略化し、現場での生産性を向上、

広い足場の悪い河床を歩かず、ドローンで正確な位置情報を得られることによる安全性の向上が図れることがメリットである。現地計測とドローンの判読画像について比較的規模の大きい代表的な石礫を計測し、オルソフォトとの対比検証を行った。石礫は現地で長径と短径の2辺を計測し、オルソフォト上でどの位置に該当するか確認するものとした。

判読対象とした石礫の大きさは、工事段階で破碎処理を行う対象礫の規模を1m以上と想定し、オルソフォト内に存在する全てを抽出するものとした。空中写真判読の実施を前提としたことから、写真上で客観的な評価が行えるよう、赤白ポールを持つ作業者を含めて撮影を行い、現地計測と空中写真の精度確認を行った。

##### (3) AI 石礫自動判読システムを用いた調査結果

図-7のように開発したAI石礫自動判読システムでオルソフォトを用いた石礫の自動判読を実施した結果を図-6に空中写真判読ならびに地表での調査結果と比べ誤差無く石礫を判読していることが分かる。

判読した石礫の大きさは、検証に用いた石礫のサイズとスケールを一致させており、現地計測を行っていない石礫についても抽出が可能となった。計測した石礫は規模とともに位置座標も図-8のように抽出可能である。

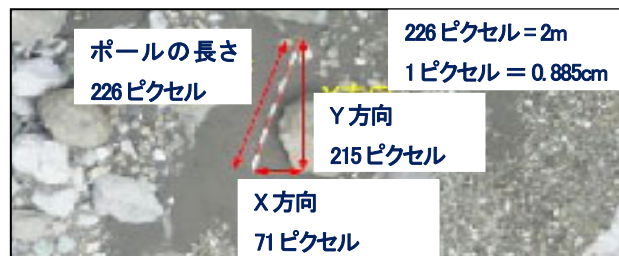


図-5 抽出画像の精度検証

表-3 人力作業とAIによる礫抽出の比較

項目	人力作業	人工知能 (AI)
抽出可能な礫径	10cm～上限なし	30cm以上～上限なし ※解像度による
礫の認識率	100%	礫径100cm以上で70%以上
礫の誤検出率	定量評価困難 人による目視誤差	8.6% ※本開発実施段階
礫の抽出個数	400個 長時間	数千個 短時間

表-4 空中写真の撮影条件

項目	条件等
解像度	1cm以下
撮影高度	40m以下
撮影範囲	200m × 1000m以内
オーバーラップ率	90%以上
サイドラップ率	60%以上
撮影範囲内の指標	撮影写真内にポール等の配置
計測目標石礫の規模	1.0m以上

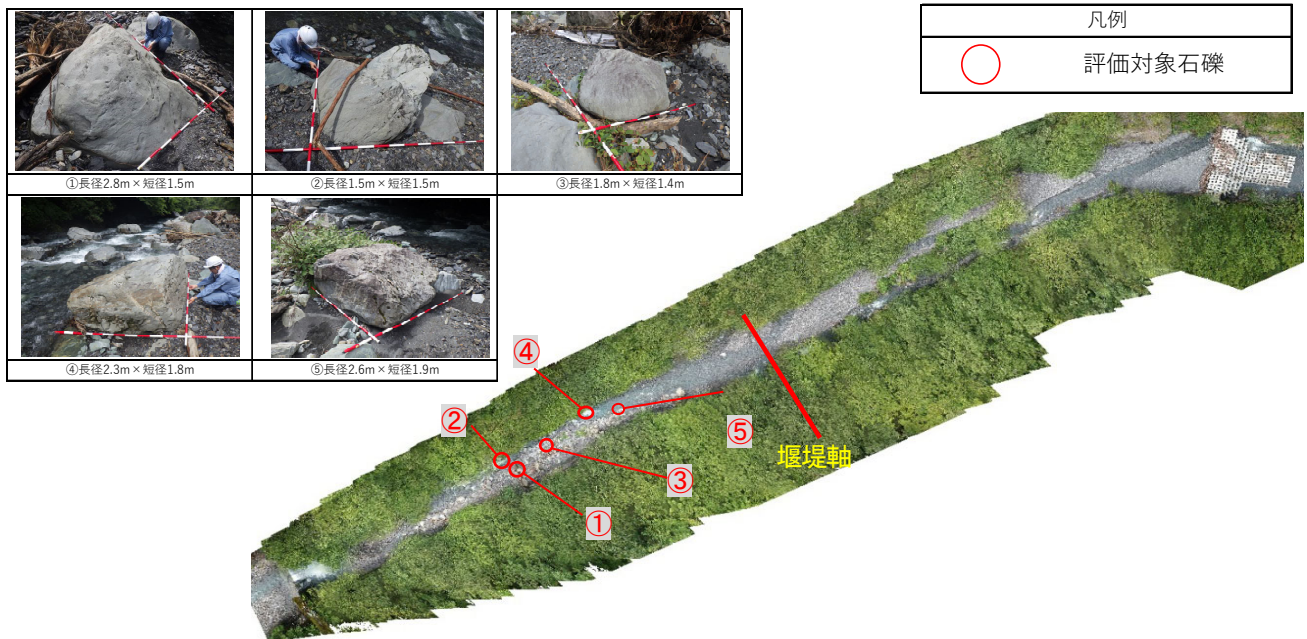


図-6 施設計画地点（黒桂河内川）のオルソフォト及び地表踏査した石礫との対比確認

## 6. おわりに

土砂災害発生後の復旧にあたっては土砂移動現象の究明や砂防施設の設計・施工時の石礫調査は不可欠であり、安全かつ迅速な調査結果の確認が求められる。本システムは、ドローンを活用して計測した空中写真画像からオルソフォトを生成しAI技術によって石礫の個数や位置情報を提供できる。

本システムを用いることにより、安全性の課題である足場の悪い河床路の立入を最小限に留めることで調査できるとともに、工期短縮の課題である石礫の抽出は人工知能により迅速行えることとなった。また、精度の課題である石礫の判別においても現地計測と空中写真判読のキャリブレーションを行うことで高精度の成果を取得することができた。

本検討では砂防事業で頻繁に行われる石礫調査をターゲットとしたが、画像による識別を行うことを前提とするとコンクリート構造物や地質の判定、植物の生育観察や魚類等の個体調査など調査部門での応用も考えられる。また火山現場での無人化施工技術では熟練オペレータに頼らない砂防工事が求められておりコンクリートブロックのセンターホールの認識や岩の破碎（岩の目の抽出）等にも応用が可能と考えられる。

### 参考文献

- 1) 国土交通省国土技術総合政策研究所土砂災害研究部砂防研究室：土石流・流木対策設計技術指針解説
- 2) 井川忠、佐藤厚慈、青山哲司：AI技術を用いた石礫の自動判読技術の開発、土木建設技術発表会 2020, 土木学会

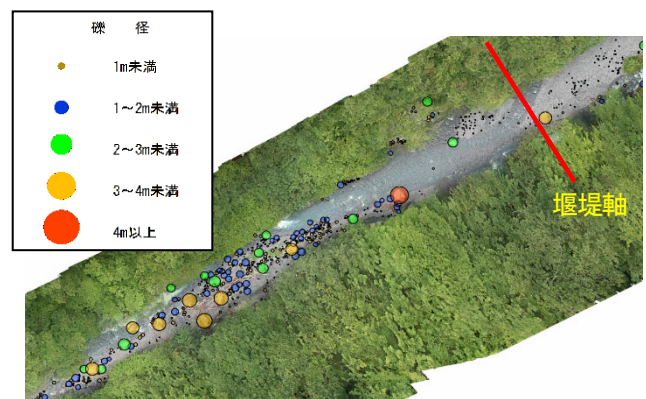


図-7 石礫自動判読システムを用いた判読結果

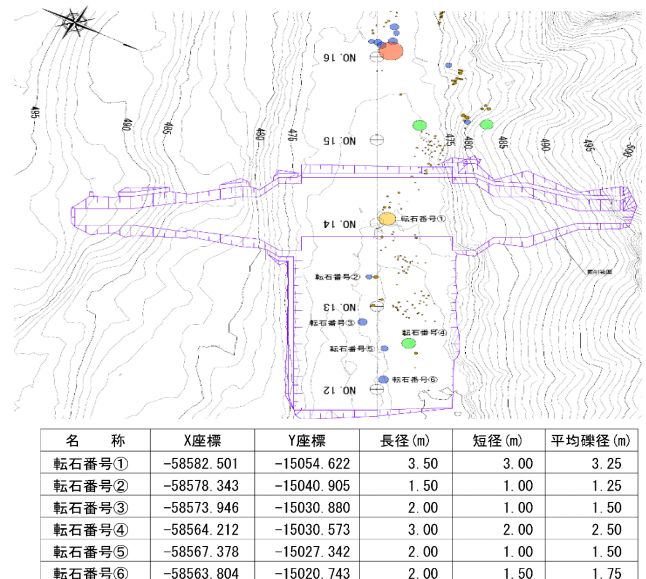


図-8 掘削範囲の石礫の位置・規模の算定結果